

СКАНДИЙ, ИТТРИЙ И ЛАНТАНОИДЫ В БЕРИЛЛЕ ШЕРЛОВОЙ ГОРЫ

Борзенко А.А., Юргенсон Г.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (ИПРЭК СО РАН), г. Чита, avonanik@mail.ru

Берилл представляет собой островной силикат бериллия и алюминия, $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, ряд разновидностей которого с древнейших времен используется как благородный и дорогой ювелирный камень. Известно, что в качестве изоморфных примесей в берилле могут присутствовать Sc^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , Mg , Ca , Mn , Ti^{3+} , V^{3+} , Ga^{3+} , Ge^{4+} , B , P . Принято считать, что скандий изоморфно замещает ионы алюминия в октаэдрических позициях по схеме изовалентного изоморфизма $\text{Sc}^{3+}\text{VI} \rightarrow \text{Al}^{3+}\text{VI}$ [Минералы, 1981]. Более того, известна его скандиевая разновидность синего цвета – бацитт. Предполагается также, что в структурных каналах располагаются Y и Yb [Минералы, 1981].

Среди кристаллов берилла Шерловой Горы развиты его почти бесцветные разновидности, голубые и зелено-голубые разной интенсивности окраски (аквамарины), зеленые, желто-зеленые и типичные гелиодоры различной интенсивности желтой и оранжевой окраски. Установлены также переходные к гелиодорам оливково-зеленые бериллы, природа окраски которых совершенно не изучена. Выявлены единичные кристаллы зеленого цвета, по содержанию хрома и ванадия соответствующие изумрудам среднего качества [Юргенсон, Борзенко, 2018]. Кристаллы берилла Шерловой Горы часто неоднородны. Для многих из них характерно закономерное изменение окраски в виде продольной или поперечной её зональности

относительно оси c в кристалле, которая зависит от распределения примесей.

Ранее авторами выполнено сравнительное изучение содержания скандия в различно окрашенных кристаллах берилла Шерловгорского рудного поля. Установлена связь его с содержанием Fe^{3+} . Выявлено, что максимальные концентрации скандия типичны для кристаллов берилла голубого цвета [Юргенсон и др., 2017]. Но работа была выполнена на относительно небольшом числе образцов, что потребовало продолжения исследований. В связи с тем, что содержание редкоземельных элементов в берилле Шерловой Горы не изучалось, в настоящей статье излагаются первые результаты исследования их распределения в кристаллах берилла различной окраски.

Методом ICP-MS изучено содержание железа, скандия, иттрия и лантаноидов в 58 кристаллах берилла и их фрагментах. Результаты этих исследований представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Анализ данных таблицы показывает, что вариации средних величин содержаний скандия, иттрия и железа достаточно велики. Об этом же свидетельствуют и величины среднеквадратичного отклонения. При этом содержания железа резко преобладает над таковыми скандия (в 31 раз для зеленых и в 154 раза для желтых кристаллов) и иттрия (от 719 до 20500 раз независимо от принадлежности кристаллов к той или иной цветовой разновидности). Это означает, что вклад

Таблица 1. Статистические характеристики содержания Sc, Y и Fe в кристаллах берилла Шерловой Горы

Окраска	n	Элемент и статистические характеристики его содержания, ppm					
		Скандий		Иттрий		Железо	
		x	σ	x	σ	x	σ
Бесцветный	2	82.5	77.5	0.7	0.15	3900	700
Бледно-голубой	8	107.5	57.4	1.7	2.9	4787	1709
Голубой	11	74.2	72.7	7.8	6.3	5609	1117
Ярко голубой	2	70.0	0	0.5	0	10250	1050
Переходный (зеленовато-голубой)	7	46.6	28.2	3.7	2.1	5986	1561
Бледно-зелёный	7	148.6	57.4	1.3	1.9	4671	1077
Зелёный	13	55.3	56.3	5.9	4.1	4454	1196
Жёлтый	4	41.0	22.3	3.8	2.3	6325	642
Оливковый	2	115.0	25	0.5	0	8900	1000

Примечание: n – число проб, x – среднее содержание, σ – среднеквадратичное отклонение

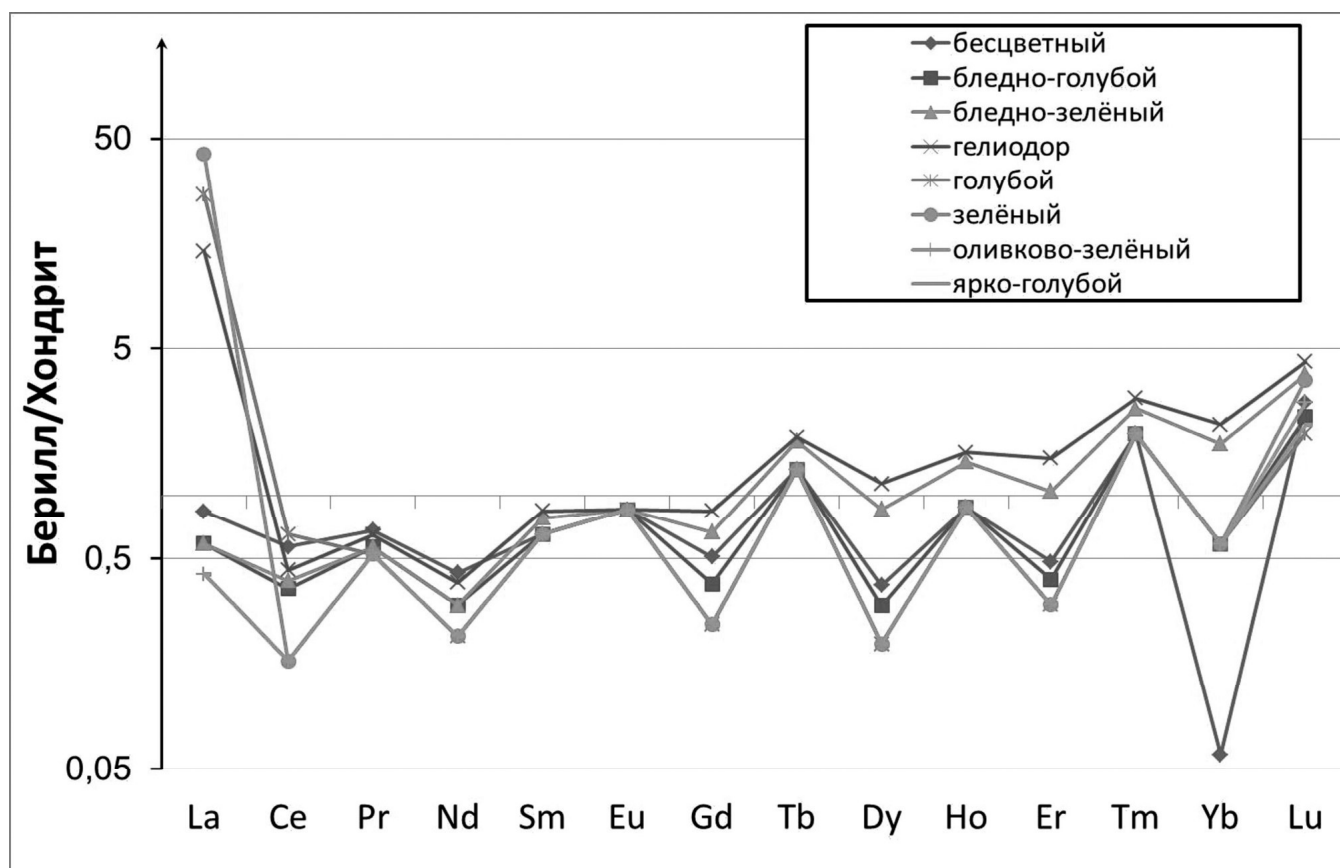


Рис. 1. Распределение лантаноидов в кристаллах берилла

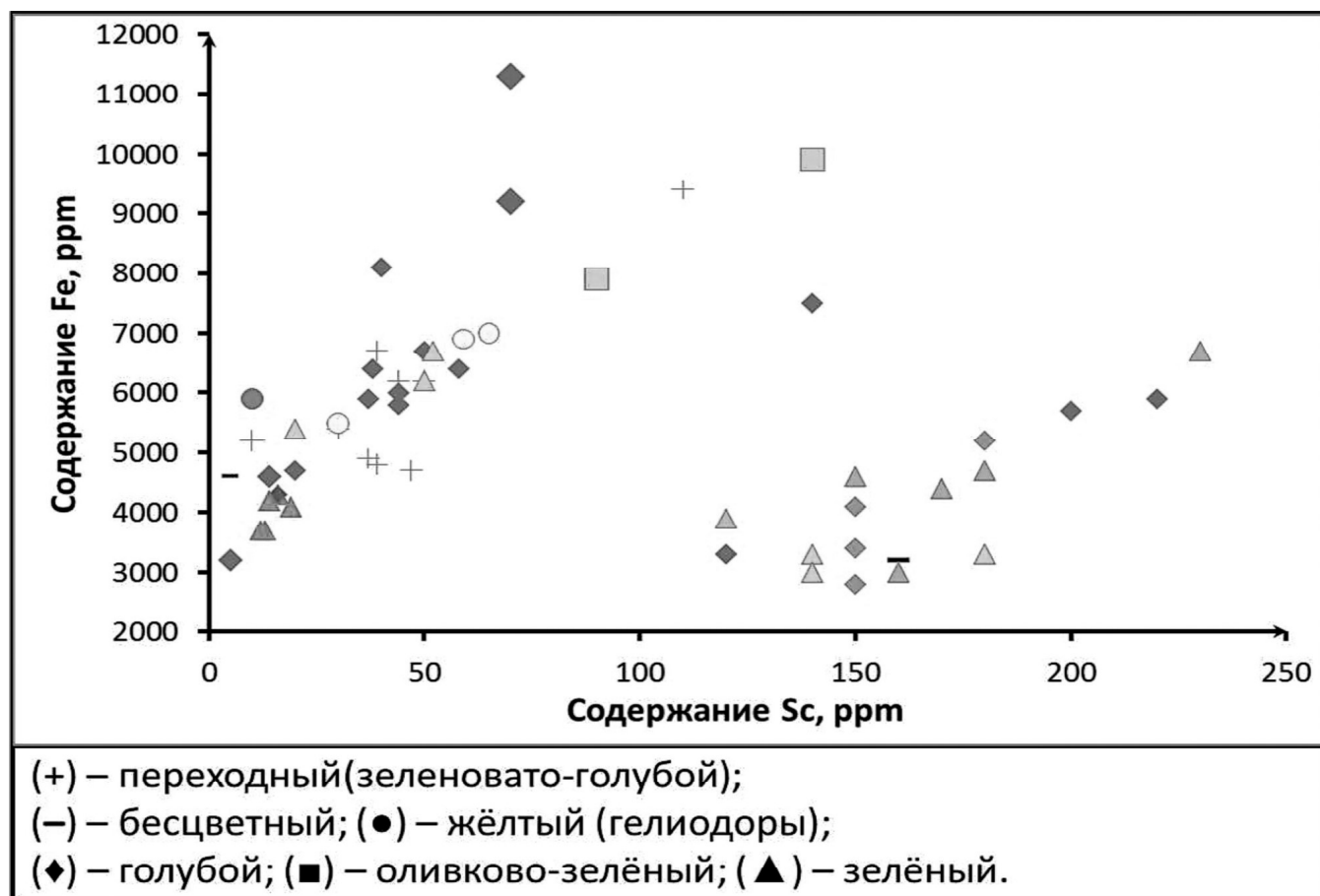


Рис. 2. Два тренда соотношений концентраций железа и скандия в кристаллах берилла различной окраски

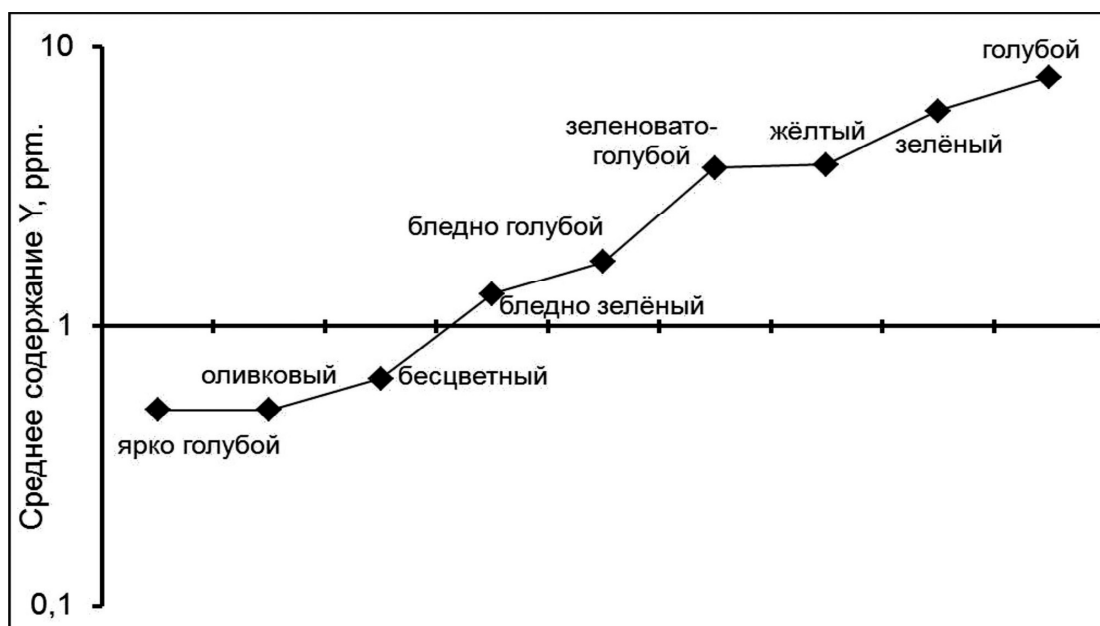


Рис. 3. Изменчивость содержаний иттрия в различно окрашенных кристаллах берилла

железа в окраску несопоставимо велик по сравнению со скандием и, тем более, с иттрием.

Как видно на рис. 1, содержания лантаноидов в кристаллах берилла Шерловой Горы распределены крайне неравномерно. В целом наблюдается некая тенденция возрастания содержаний тяжелых лантаноидов по сравнению с легкими, что ранее нами выявлено для кристаллов ферберита этого месторождения [Yurgenson et al., 2017]. Исключение составляет лантан в кристаллах зеленого, голубого и желтого цвета, содержания которого в них близки к кларку или выше (до 48 ppm). La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd во всех цветовых разностях берилла содержатся в концентрациях менее 1 ppm, а Tb, Tm и Lu во всех изученных образцах находятся в количествах, близких к их кларкам или превышают их. Не наблюдается европиевый минимум, но вместо него четко проявлен минимум для иттербия в бесцветных и бледно-голубых кристаллах. Эти первые данные о содержании лантаноидов в берилле дают основание для проведения специальных исследований.

Сравнительный анализ соотношений содержаний скандия и железа в цветовых разностях берилла (рис. 2) показал, что существует тенденция к прямой их связи. Но, как видно на этом же рисунке, выявилось две группы кристаллов, отличающихся по содержаниям скандия и железа. Для первой типичны содержания железа до 1200 ppm и скандия, в основном, до 100 ppm, а для второй – содержания железа до 700 ppm и скандия от 120 до 240 ppm. Первая группа включает все желтые, зелено-голубые и оливково-зеленые кристаллы и лишь 17% зеленых, тогда как вторая состоит только из зеленых (60 %) и

голубых (35 %) кристаллов. Лишь один относится к бесцветным. Эта особенность распределения цветовых разностей кристаллов берилла по двум группам связей между Sc и Fe выявило различную роль их в формировании кристаллов берилла различной окраски и требует дальнейшего исследования.

Распределение иттрия в кристаллах берилла, как это видно на рис. 3, пока не выявило связи его содержаний с кристаллами берилла определенного цвета и требует дальнейшего изучения.

Выводы.

1. Установлены пределы вариаций содержаний скандия в кристаллах берилла Шерловой Горы и прямая связь между примесями железа и скандия в них.
2. Выявлена тенденция в возрастании концентраций тяжелых лантаноидов в кристаллах берилла.
3. Для изученных кристаллов берилла не типичен европиевый минимум.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минералы. Справочник. Т. III. М.: Наука, 1981. 614 с.
2. Юргенсон Г.А., Лимберова В.В., Борзенко А.А. Скандий в берилле Шерловгорского рудного поля в Юго-Восточном Забайкалье // Кулагинские Чтения: техника и технология производственных процессов. Ч.2. Чита: ЗабГУ. 2017. С. 200–206.
3. Demartin F., Gramaccioli C.M., Pilati T. Structure refinement of bazzite from pegmatitic and miarolitic occurrences // Canadian Mineralogist. 2000. 38. P. 1419-1424.
4. Yurgenson G., Bychkov A., Kononov O. & Popova J. REE in wolframites from Sherlova Gora gems mine (Transbaikalia, Russia) // Goldschmidt-17, Paris 13-18 aug. 2017 (2017) Goldschmidt Abstracts, 2017. P. 4443.